ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

«БЮЛЛЕТЕНЬ ВСЕМИРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ»

Журнал «Бюллетень Всемирной организации здравоохранения» издается специализированным учреждением Организации Объединенных Наций. В журнале публикуются оригинальные статьи и обзоры, посвященные широкому кругу вопросов эпидемиологии, профилактической медицины и организации здравоохранения, помещаются сообщения о результатах международных исследований, проводимых при финансовой и технической поддержке Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), данные, получаемые при осуществлении программ этой организации, а также оригинальные исследования, проводимые в разных странах мира.

В журнале широко представлены вопросы эпидемиологии различных инфекционных, паразитарных и неинфекционных заболеваний, данные об экологии переносчиков и методах борьбы с ними, результаты кампаний по борьбе с массовыми заболеваниями. В «Бюллетене ВОЗ» широко публикуются результаты совместных международных исследований биологических стандартов, статьи по фармакологии и токсикологии.

«Бюллетень Всемирной организации здравоохранения» представляет большой интерес для специалистов по тропическим заболеваниям, эпидемиологов, вирусологов, бактериологов, фармакологов, фтизиатров, лепрологов, организаторов здравоохранения и для других специалистов, интересующихся состоянием здравоохранения в мире и современными методами проведения массовых эпидемиологических исследований.

Журнал «Бюллетень Всемирной организации здравоохранения» на русском языке можно приобрести в киосках «Союзпечать».

Издательство «Медицина»

МИНИСТЕРСТВО
ЗДРАВООХРАНЕНИЯ
СССР

КОСМИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ И АВИАКОСМИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

5

ТОМ 11

СЕНТЯБРЬ — ОКТЯБРЬ

ГОД ИЗДАНИЯ 11-й

ГОСУДАРСТВЕННАЯ БИБЛИОТЕКА СССР им. В. И. Ленина

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МЕДИЦИНА»
Москва — 1977

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор О. Г. ГАЗЕНКО
Е. И. ВОРОБЬЕВ (зам. главного редактора),

Н. Н. ГУРОВСКИЙ (зам. главного редактора),
А. А. ШИПОВ (ответственный секретарь),
Б. А. АДАМОВИЧ, И. Т. АКУЛИНИЧЕВ, Б. С. АЛЯКРИНСКИЙ,
А. С. БАРЕР, И. И. ВАВИЛОВ, П. В. ВАСИЛЬЕВ,
А. Д. ВОСКРЕСЕНСКИЙ, М. Д. ВЯДРО, А. М. ГЕНИН,
С. А. ГОЗУЛОВ, Ю. Г. ГРИГОРЬЕВ, А. А. ГЮРДЖИАН,
Б. Б. ЕГОРОВ, М. Д. ЕМЕЛЬЯНОВ, Н. Д. ЗАВАЛОВА,
А. А. ИМШЕНЕЦКИЙ, Е. А. КОВАЛЕНКО, Ю. Г. НЕФЕДОВ,
И. Г. ПОПОВ, Ю. М. СВИРЕЖЕВ, Е. Я. ШЕПЕЛЕВ,
И. П. ШИНКАРЕНКО

Адрес редакции журнала:

117819, ГСП-1,
Москва В-246,
Научный проезд, 12б,
издательство «Медицина»
(проезд метро до станции «Калужская»)
тел. 120-60-43

Зав. редакцией З. П. Лакина

© «Космическая биология и авиакосмическая медицина», 1977

К 60-летию Великого Октября

УДК 574.68+613.693

А. И. Бурназян, Е. И. Воробьев, О. Г. Газенко, Н. Н. Гуровский, Ю. Г. Нефедов, Б. А. Адамович, Б. Б. Егоров, Е. Е. Ковалев, А. Д. Егоров

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КОСМИЧЕСКОЙ БИОЛОГИИ И МЕДИЦИНЫ

Начало второй половины XX века ознаменовалось глубокими теоретическими исследованиями в области космонавтики, а также практическим созданием мощных ракетно-космических систем, позволивших осуществить первый в мире полет человека в космос. Работы в области космонавтики существенно стимулировали развитие многих наук, в том числе космической биологии и медицины.

Космическая биология — отрасль биологической науки, которая изучает главным образом 3 основные проблемы:

1) особенности жизнедеятельности и поведения земных организмов в условиях космического пространства или при полетах на летательных аппаратах (внеземная жизнь земных организмов — экофизиология);

2) выявление во Вселенной живой материи, в том числе инопланетного происхождения, и изучение ее особенностей и эволюции (экзобиология);

3) принципы и методы построения искусственной среды обитания в космических кораблях и на станциях (биотехнология, экология замкнутых систем).

Космическая медицина возникла в связи с потребностями космонавтики и аккумулировала в себе достижения физиологии, гигиены и медицины.

Основными задачами космической медицины являются:

— обеспечение жизнедеятельности и сохранение здоровья космонавтов на всех этапах космического полета и после его завершения;

— разработка методов отбора и подготовки космонавтов;

— разработка рекомендаций по поддержанию высокой работоспособности космонавтов в космическом полете, при выходе в открытое космическое пространство и на поверхность других планет;

— исследование влияния условий космического полета на организм человека;

— разработка профилактических мер, средств защиты и методов лечения неблагоприятных явлений, связанных с воздействием невесомости и других факторов космического полета на организм.

Условно можно выделить 3 основных этапа развития космической биологии и медицины:

Первый этап — подготовка полета человека в космическое пространство, этот этап охватывал значительный период и включал в себя следующие задачи:

— обобщение данных авиационной медицины и физиологии, накопленных при изучении влияния неблагоприятных факторов внешней среды на организм животных и человека;

— проведение лабораторных исследований с имитацией влияния основных факторов космического полета на организм; осуществление экспериментов на животных при полетах на ракетах и спутниках.

Основной задачей этого периода являлось определение принципиальной возможности полета человека в космос, а также создание систем, обеспечивающих пребывание человека в кабине космического корабля во время орбитального полета. Для решения этих задач в СССР, начиная с 1949 г., была осуществлена серия экспериментов с животными при вертикальном запуске ракет на высоты от 100 до 473 км. Всего в течение 1949—1959 гг. на ракетах в Советском Союзе было осуществлено 26 запусков 52 собак, причем максимальная продолжительность пребывания животных в условиях, близких к невесомости, составила около 10 мин.

Анализ результатов исследований показал, что в целом воздействие факторов полета на ракетах не вызывало существенных нарушений физиологических функций организма животных. В организации и осуществлении этого этапа исследований приняли участие такие видные ученые, как Н. М. Сисакян, В. А. Энгельгардт, В. Н. Черниговский, В. В. Парин, большое число научных сотрудников при всесторонней помощи и поддержке со стороны А. А. Благонравова, С. П. Королева, М. В. Келдыша и других крупных советских ученых.

В 1957 г. был осуществлен полет собаки Лайки на втором искусственном спутнике Земли. Этот полет имел принципиальное значение, так как впервые высокоорганизованное животное длительное время находилось в условиях невесомости. В результате была установлена удовлетворительная переносимость животным условий космического полета. В течение короткого периода (с августа 1960 г. по март 1961 г.) были осуществлены успешные полеты 4 кораблей-спутников с собаками на борту, которые позволили получить большой материал о реакциях основных физиологических систем организма в полете, а также на Земле в послеполетном периоде. В кабинах этих кораблей были размещены различные по сложности организации биологические объекты (микроорганизмы, семена различных растений, культуры эпителиальных опухолевых клеток человека, небольшие консервированные участки кожи кролика и человека, насекомые, черные и белые лабораторные мыши и крысы, морские свинки). Все эти исследования позволили получить большой экспериментальный материал, который подтверждал безопасность (с точки зрения здоровья) космического полета человека. К аналогичным выводам пришли американские ученые, осуществившие исследования на обезьянах во время суборбитального и орбитального (2 витка) полетов космических аппаратов (1961). В тот же период был решен ряд задач по обеспечению жизнедеятельности космонавтов — созданы системы подачи кислорода в кабину и удаления углекислого газа и вредных примесей, утилизации продуктов жизнедеятельности человека, питания, водообеспечения, врачебного контроля. В решении этих инженерно-технических задач принимали самое непосредственное участие специалисты космической медицины.

Второй этап — кратковременные полеты человека в космос. Этот этап начался историческим полетом первого в мире космонавта, гражданина Советского Союза Ю. А. Гагарина 12/IV 1961 г. на корабле «Восток». Полет Ю. А. Гагарина явился экзаменом зрелости космонавтики в целом и космической медицины в частности. Медико-биологические исследования и разработанная на их основе система обеспечения жизнедеятельности позволили создать нормальные условия для жизни и работы космонавтов в полете.

Сложившиеся к этому времени система отбора и подготовки космонавтов, методика контроля их состояния и работоспособности, а также гигиенических параметров кабины обеспечивали надежность и безопасность полета.

В последующие годы на одноместных кораблях типа «Восток» и многоместных «Восход» и «Союз» были осуществлены многочисленные полеты космонавтов длительностью от 1 до 18 сут. Медико-биологические исследования, выполненные во время этих полетов, надежно доказали возможность пребывания и разносторонней деятельности человека в условиях космического полета при сохранении достаточно высокой работоспособности.

Во время полета корабля «Восход-2» космонавт А. А. Леонов впервые совершил выход в открытый космос, при этом была показана возможность работы человека в этих условиях.

В исследованиях второго этапа была накоплена обширная информация, свидетельствующая, в частности, о появлении определенных сдвигов со стороны ряда систем организма человека во время и после полетов. При этом было установлено, что приспособление к обычным условиям земного существования после космических полетов протекает с известными трудностями и сопровождается выраженным напряжением физиологических систем.

Во время пилотируемых полетов наряду с медицинскими исследованиями космонавтов проводилось большое число различных биологических экспериментов.

Третий этап — исследования во время длительных полетов пилотируемых орбитальных станций. На борту станции оказалось возможным разместить аппаратуру для медико-биологических исследований, а также средства профилактики неблагоприятного воздействия невесомости. Влияние на организм ограничения двигательной активности — гиподинамии, связанной с относительно малыми размерами жилых отсеков в кабинах космических кораблей, было значительно снижено вследствие увеличения объема жилых отсеков на орбитальных станциях. Следует также отметить, что на орбитальных станциях удалось создать более комфортные условия быта, личной гигиены, а использование комплекса профилактических средств помогло в значительной степени сгладить реакции организма на невесомость.

Впервые запуск долговременной орбитальной станции был осуществлен 19/IV 1971 г. Стартовавший 6/VI 1971 г. космический корабль «Союз-11» доставил на борт станции экипаж в составе Г. Т. Добровольского, В. Н. Волкова и В. И. Пацаева. В результате 23-дневного полета был выполнен большой объем научно-технических, медико-биологических, физических и других исследований. К несчастью, полет закончился трагически. Однако научные факты и материалы, полученные в этом полете, имели огромное значение для последующего развития длительных пилотируемых полетов.

Многочисленные обширные медико-биологические эксперименты, выполненные во время полетов советских станций «Салют-3», «Салют-4» и «Салют-5», показали, что с увеличением продолжительности полетов не наблюдалось прогрессивного ухудшения состояния здоровья космонавтов. Комплекс профилактических средств обеспечивал поддержание хорошего состояния здоровья и работоспособности космонавтов в полете, а также облегчал приспособление к земным условиям в послеполетном периоде. Важно заметить, что проведенные медицинские исследования не выявили каких-либо сдвигов в организме космонавтов, препятствующих планомерному увеличению продолжительности космических полетов.

Медико-биологические проблемы пилотируемых космических полетов весьма разнообразны и, естественно, не могут быть исчерпывающе разобраны в настоящей статье. Рассмотрим некоторые из этих проблем, например, такие, как медицинское обеспечение жизнедеятельности и безопасности экипажа космического корабля. К ним относятся:

— физиолого-гигиенические проблемы (газовая среда и параметры микроклимата в жилых отсеках и скафандрах при работе в открытом космосе);

— проблемы питания, водообеспечения, кислородообеспечения, утилизации отходов и др.;

— клинико-физиологические проблемы (отбор и подготовка экипажей, методы профилактики заболеваний, средства оказания медицинской помощи при развитии заболеваний и т. д.);

— психофизиологические проблемы (психологическая совместимость, режим труда и отдыха);

— методы профилактики неблагоприятного влияния факторов полета на экипаж в целях обеспечения его высокой работоспособности.

Одной из основных проблем, без решения которой невозможен космический полет, является создание систем, обеспечивающих оптимальную атмосферу, температуру, питание и водообеспечение космонавтов и удаление продуктов жизнедеятельности.

Системы жизнеобеспечения в зависимости от методов регенерации кислорода и удаления углекислого газа, паров воды и вредных примесей могут базироваться на физических, физико-химических и биологических принципах. Физические и физико-химические методы основываются на использовании запасов кислорода, взятых с Земли, или же кислорода, получаемого из углекислоты и воды. Продукты выделения поглощаются вследствие физико-химических процессов, например сорбций, конденсации, разделения и т. д. В основе биологических методов лежит принцип круговорота веществ, в процессе которого кислород образуется из углекислоты при фотосинтезе растений. Во время вертикальных запусков ракет, полетов биоспутников с животными на борту, а также пилотируемых полетов использовались незамкнутые системы жизнеобеспечения, основанные на запасах, взятых с Земли. Частично замкнутые системы жизнеобеспечения предусматривают использование определенной доли продуктов жизнедеятельности человека для регенерации необходимых веществ. Замкнутые системы характеризуются практически полным круговоротом веществ и не требуют пополнения их за счет запасов, взятых с Земли. Однако источник энергии в такой системе является внешним и не входит в замкнутый контур. Неотъемлемым требованием к атмосфере обитаемых отсеков является ее биологическая эквивалентность нормальной земной атмосфере. В советских космических кораблях используется искусственная газовая атмосфера, близкая по давлению и газовому составу к земной атмосфере. Такая газовая среда наиболее адекватна для длительного пребывания в ней человека, который приспособился к ней в процессе эволюции. Дальнейшие исследования в этой области должны быть направлены на выбор оптимальных соотношений основных параметров, установление предельно допустимых значений параметров среды и вредных примесей для различных полетов и разработку новых, более эффективных способов обеспечения газового состава.

Важной медико-технической проблемой является обеспечение выхода и работы человека в открытом космическом пространстве и на поверхности других планет, что может быть обеспечено, в частности, при использовании индивидуальных средств снаряжения (скафандр с автономной системой жизнеобеспечения, устройство для передвижения и т. д.). При разработке медицинских требований к скафандру учитываются не только необходимость поддержания на нужном уровне параметров микроклимата и температурного режима, но и конструктивные особенности, обеспечивающие возможность передвижения и выполнения работ в космическом пространстве.

Проблема питания и водоснабжения экипажей в настоящее время решается на основе использования пищи и воды, взятой с Земли. Наряду с этим в последнее время находят применение системы регенерации воды из продуктов жизнедеятельности и, в частности, из влаги, выдыхаемой человеком.

Проблема воспроизводства пищи и воды на борту может решаться путем создания круговорота веществ на основе использования физико-химических или биологических методов. Физико-химические методы регенерации пищи основываются на превращении продуктов обмена и выделений человека в пищевые вещества. В настоящее время исследуется возможность синтеза таких соединений, как аминокислоты, жирные кислоты, глюкоза. Частично или полностью замкнутый круговорот веществ на основе биологических методов предусматривает использование на космическом корабле ряда биологических объектов: высшие и низшие растения, некоторые представители гетеротрофных организмов и т. д. Работы в этом плане находятся пока на начальном этапе своего развития, и биологические системы синтеза — дело будущего. В настоящее время для регенерации кислорода и воды в наземных экспериментах апробированы физико-химические методы. В СССР в 1967—1968 гг. проводился годовой медико-технический эксперимент с участием 3 испытуемых, в котором для восстановления кислорода и воды из отходов жизнедеятельности человека использовались электрохимические и каталитические методы.

Дальнейшая разработка проблем питания и водообеспечения в космическом полете включает изучение энергетических и пластических потребностей организма, обеспечение организма минеральными компонентами, витаминами и основными пищевыми ингредиентами, удовлетворение индивидуальных вкусовых потребностей. В длительных полетах предпочтение следует отдавать обычным натуральным земным продуктам и блюдам. Учитывая, что основные проблемы питания могут быть разрешены лишь при исследованиях в полете, необходимо совершенствовать и разрабатывать новую аппаратуру для количественного учета потребления воды и пищи в целом и ее основных компонентов, включая минеральные вещества, а также выводимые из организма шлаки. Наконец, предстоит проведение обширных исследований, направленных на теоретическую и практическую разработку проблем регенерации пищи и воды на основе круговорота веществ.

Проблема отбора лиц, годных по состоянию здоровья к выполнению космического полета, возникла еще при подготовке к первому пилотируемому полету Ю. А. Гагарина. Суть этой проблемы состоит в прогнозировании переносимости условий планируемого космического полета при сохранении космонавтом достаточной работоспособности для выполнения программы полета. Уже на первых этапах отбор космонавтов имел ряд специфических особенностей, однако в основу его был положен опыт врачебно-летной экспертизы, применяемой в авиации. Развитие космонавтики, появление многоместных космических кораблей определили необходимость включения в состав экипажа не только летчиков, но и инженеров по разработке этой техники (космонавтов-испытателей), а также ученых (космонавтов-исследователей). Приобретен был также опыт космических полетов, расширились знания о действии факторов полета на организм. Все это выделило проблему отбора космонавтов в самостоятельную дисциплину. Основной принцип отбора состоит в непрерывности этого процесса, начиная от первого знакомства с кандидатом и кончая его допуском к полету на космодроме. Принятая в настоящее время система медицинского отбора динамично развивается, аккумулируя современные достижения клинической и космической медицины.

При планировании медицинского обеспечения длительных полетов необходимо иметь в виду возможность развития заболеваний экипажа в полете. При этом совершенно очевидно, что их вероятность будет возрастать с увеличением продолжительности космического полета. Отсюда возникает проблема разработки методов и средств диагностики и оказания лечебно-профилактической помощи, в том числе экстренной.

В области космической психофизиологии важное значение приобретает разработка проблемы «человек — машина».

В первых космических полетах человек в системе «человек — космический корабль» играл относительно небольшую роль. В настоящее время экипаж выполняет весьма ответственные операции по управлению полетом и проведению экспериментов, а также осуществляет контроль за работой систем.

Определенный уровень комфорта и удобств в полете является непременным условием для поддержания высокой работоспособности экипажа. В процессе отработки программы пилотируемых космических полетов условия жизнедеятельности постоянно совершенствовались. С увеличением длительности полетов и числа космонавтов, входящих в экипаж, проблемы создания оптимальных условий работы и быта на борту космических аппаратов приобретают еще большее значение. Перечисленные проблемы весьма многогранны и от их успешного решения в определенной степени зависит поддержание работоспособности и эмоционального тонуса космонавтов. Ниже будут рассмотрены лишь некоторые аспекты этих проблем.

Исследования, проведенные в полетах, показали, что работоспособность во многом определяется рациональным построением цикла «бодрствование — сон». Укорочение или удлинение суточного цикла требует определенного напряжения регуляторных систем и времени для усвоения организмом нового циркадного ритма. Допуская возможность в полете некоторых сдвигов в сторону увеличения или уменьшения суточного цикла, необходимо все же стремиться к 24-часовому циклу, который, по-видимому, наиболее адекватен для длительных космических полетов.

Важное значение в длительных полетах приобретают вопросы организации отдыха экипажа. Здесь предстоит проведение исследований, направленных на обоснование подхода к комплектованию бортовых библиотек, подбору магнитофонных и видеомагнитофонных записей, кинофильмов и иных средств представления информации экипажу.

В комплексе мероприятий, обеспечивающих безопасность космических полетов и получение информации о состоянии жизненно важных систем организма, значительная роль принадлежит медицинскому контролю.

Задачей медицинского контроля является оценка и прогнозирование состояния здоровья членов экипажа, а также выдача рекомендаций на проведение профилактических и лечебных мероприятий в ходе полета. Конечная цель медицинского контроля — обеспечение безопасности полета и сохранение здоровья космонавтов.

Создание научно обоснованной диагностической системы в космическом полете включает следующие этапы: определение наиболее вероятных неблагоприятных состояний и заболеваний; выбор комплекса физиологических параметров, а также наиболее информативных функциональных проб, необходимых и достаточных для оценки и прогнозирования состояния здоровья членов экипажей в полете; разработка методов получения, анализа, хранения и отображения медицинской информации в ходе полета.

Во время первых полетов медицинские показатели (ЭКГ, частота дыхания) регистрировались на всех приемных витках, а начиная с полета корабля «Союз-9» регистрация осуществлялась 1—2 раза в сутки.

Во время полетов орбитальных станций наряду с системой оперативного медицинского контроля применялась система периодических обследований (примерно 1 раз в неделю), предусматривающая регистрацию артериального давления тахоосциллографическим способом, фазовой структуры сердечного цикла (кинетокардиограмма и сфигмограмма), скорости распространения пульсовой волны (сфигмограмма с различных областей тела), венозного давления (флебографическим

методом), ЭКГ в 12 отведениях с применением функциональных проб и в покое. Функциональные пробы включали дозированную физическую нагрузку на велоэргометре и приложение отрицательного давления к нижней части тела.

Обобщение результатов медицинского контроля и обследований во время полетов показало, что воздействие условий космического полета приводит к развитию в ряде случаев определенных явлений, к числу которых относятся:

— симптомокомплекс, сходный с укачиванием;

— изменение функционального состояния сердечно-сосудистой системы в виде снижения ортостатической устойчивости и устойчивости к физическим нагрузкам;

— изменение водно-солевого баланса в виде снижения объема циркулирующей крови и изменения содержания электролитов в жидкостях организма;

— уменьшение минеральной насыщенности костной ткани;

— анемический синдром в виде уменьшения эритроцитной массы, тромбоцитов и понижения резистентности эритроцитов;

— изменение иммунологической реактивности со снижением некоторых показателей естественного иммунитета.

Степень выраженности этих явлений весьма вариабельна и во многом зависит от индивидуальных особенностей организма. Возникновение подобных явлений стимулировало разработку и проведение мероприятий, направленных на уменьшение перераспределения крови, стимуляцию нервно-рефлекторных механизмов, регулирующих гемодинамику в вертикальном положении тела; физических нагрузок в целях поддержания тренированности наиболее важных систем организма и стимуляции некоторых групп рецепторов (физические упражнения и тренировки, нагрузочные костюмы, нагрузка на скелет); целенаправленного воздействия с помощью медикаментозных средств; добавления в пищу солей, белков и витаминов, регулирующих водно-электролитный обмен, нормирование питания и водопотребления.

В плане дальнейшего изучения феноменологии и механизмов изменений физиологических функций в условиях космических полетов предстоит разрешить целый ряд проблем:

— определение роли и удельного веса перераспределения крови, изменения степени гидратации, величины ликворного и венозного давления в генезе расстройств, наблюдаемых в полете, а также разработка методов прогнозирования и профилактики этих расстройств;

— проведение детальных исследований миокарда, венозного кровообращения, почечной гемодинамики, роли возможного дефицита калия и изменений кальциевого баланса;

— изучение эритропоэза и т. д.

Анализ влияния длительной невесомости на элементарные процессы жизнедеятельности, исследование механизмов адаптации различных физиологических систем к условиям длительной невесомости и реадаптации к земной силе тяжести, а также изучение комбинированного воздействия на организм невесомости и космической радиации решались в полетных экспериментах с животными и растительными объектами на борту различных космических кораблей, в частности на биоспутниках «Космос-110» (22/II—16/III 1966 г.), «Космос-368» (8/X—14/X 1970 г.), «Космос-605» (31/X — 22/XI 1973 г.), «Космос-690» (22/X — 12/XI 1974 г.) и «Космос-782» (25/XI—15/XII 1975 г.).

В проведенных на биоспутниках серии «Космос» многочисленных экспериментах на микроорганизмах, культуре тканей животных и растений, низших и высших растениях, насекомых, рыбах, некоторых пресмыкающихся и других биологических объектах не было обнаружено

повреждающего влияния длительной невесомости на внутриклеточные биологические процессы, в том числе на те из них, которые связаны с передачей наследственной информации и осуществлением последовательного деления клеток.

Всестороннее исследование основных физиологических систем организма животных в полетах биоспутников не выявило патологических изменений, обусловленных влиянием невесомости. Вместе с тем были получены достоверные данные о том, что под влиянием невесомости происходит изменение структуры ряда тканей и органов. Наиболее значительные структурные перестройки были обнаружены в зобной железе, лимфатических узлах и селезенке — органах, функция которых, как известно, тесно связана с противомикробной защитой организма; в эндокринных железах, обеспечивающих приспособление организма к меняющимся факторам внешней среды; в костно-мышечной системе.

Возможные последствия указанных перестроек для организма пока еще трудно оценить. Однако необходимо отметить, что через 25 сут после окончания полетов 3-недельной продолжительности структурные и функциональные изменения в основном исчезали.

Эти данные в совокупности с результатами обследования космонавтов позволяют ожидать, что пребывание в условиях длительной невесомости не приведет к появлению каких-либо специфических заболеваний или гибели организма.

Результаты исследований на животных подтвердили также научную обоснованность и практическую целесообразность применяемой в настоящее время в пилотируемых космических полетах системы профилактических мероприятий.

В полете биоспутника «Космос-782» впервые в практике космонавтики были проведены экспериментальные исследования с искусственной силой тяжести. Для этой цели на борту биоспутника была установлена центрифуга, на которой были размещены биологические объекты.

Исследования, проведенные на бортовой центрифуге, позволили установить, что биологическое действие искусственной силы тяжести в условиях космического полета имеет принципиально такой же характер, как воздействие земной гравитации. Таким образом впервые экспериментально была показана возможность эффективного использования на борту космического летательного аппарата бортовой центрифуги в целях профилактики нежелательных эффектов длительной невесомости.

В исследованиях на биоспутниках серии «Космос» большое внимание уделялось также проблеме обеспечения радиационной безопасности длительных космических полетов. Особый интерес представляло изучение комбинированного воздействия длительной невесомости и ионизирующей радиации. Постановка этой задачи была обусловлена необходимостью оценить радиационную безопасность в условиях реального космического полета и получить на этой основе данные, необходимые для обоснования допустимых уровней облучения экипажей космических объектов и расчета противорадиационной защиты.

В этой связи на борту биоспутника «Космос-690» был установлен искусственный источник радиации — ^{137}Cs, что позволило в условиях длительной невесомости смоделировать возможное облучение космонавтов при мощной солнечной вспышке.

Послеполетное обследование животных показало, что их облучение в полете в условиях невесомости заметно не повлияло на радиочувствительность, выживаемость и частоту наследственных изменений в сравнении с результатами облучения в наземных лабораторных условиях. Другими словами, биологическая эффективность γ-облучения в условиях невесомости оказалась практически такой же, как на Земле.

Результаты этих обследований были использованы при разработке и обосновании временных нормативов радиационной безопасности космонавтов в полетах длительностью до 1 года.

В исследованиях по электростатической противорадиационной защите впервые экспериментально показана возможность создания и поддержания в условиях длительного космического полета электрических полей, достаточных для защиты от космических излучений, и использование в качестве изолирующей среды вакуума космического пространства.

Таким образом, в этих полетах показана перспективность метода электростатической защиты космического аппарата от ионизирующей радиации.

Результаты исследований, полученные в ходе работ по созданию электрических полей в космическом пространстве, предложены для использования в ряде отраслей народного хозяйства, в частности для радикального улучшения рабочих характеристик и повышения надежности различных высоковольтных вакуумных устройств.

Таким образом, экспериментальные исследования, проведенные в полетах биоспутников серии «Космос», позволили к настоящему времени решить ряд принципиальных вопросов космической биологии и медицины и тем самым внесли существенный вклад в построение основ и принципов медико-биологического обеспечения длительных космических полетов человека.

Успехи космической медицины способствовали решению некоторых проблем медицинской науки в целом. Так, например, исследования и уточнения допустимых колебаний физиологических показателей при различных нагрузках во многом углубили знания о границах нормы и патологии и, следовательно, обогатили клиническую медицину. Для стационарного обследования кандидатов в космонавты были усовершенствованы экспертные методы, применявшиеся при отборе летчиков, разработан ряд новых методов выявления скрытой патологии, обоснованы некоторые новые экспертные подходы при оценке состояния здоровья человека. В настоящее время многие из этих методов уже используются в клинической практике при экспертизе летчиков. К ним можно отнести методики исследования вестибулярного анализатора, модифицированные гипоксические пробы, помогающие выявить скрытую коронарную недостаточность и др.

В результате специальных исследований, проведенных в целях обоснования систем жизнеобеспечения космических кораблей, были сформулированы и вошли в широкую практику нормативы ряда параметров среды обитания человека, произведена токсикологическая оценка значительного числа новых полимерных материалов, выполнен ряд работ, имеющих прямую связь с гигиенической практикой в широком смысле этого слова.

Космическая медицина располагает достаточным опытом применения миниатюрной и устойчивой к внешним воздействиям медицинской аппаратуры для непрерывного дистанционного контроля состояния человека, проверенной практикой использования биотелеметрических систем в космических полетах.

В настоящее время разработаны надежные методы регистрации и передачи с помощью телеметрических систем таких физиологических параметров, как ЭКГ, ЭЭГ, кровяное давление, сейсмокардиограмма, кинетокардиограмма, сфигмограмма, ЭОГ, кожно-гальванический рефлекс и многие другие.

Идея непрерывного дистанционного медицинского контроля, впервые реализованная во время космических полетов, нашла практическое применение в ряде областей медицины.

Космическая медицина стимулировала проведение многочисленных исследований в целях изучения влияния на организм гипокинезии, т. е. снижения двигательной активности. Как известно, гипокинезия имеет весьма большое значение как этиологический фактор возникновения ряда заболеваний, прежде всего сердечно-сосудистой системы.

Исследования влияния снижения двигательной активности на организм человека, с одной стороны, показали социальную значимость этой проблемы, с другой — выявили, что такое широко распространенное и испытанное средство лечения, как строгий постельный режим, представляет собой отнюдь не нейтральную процедуру и требует критического осмысливания.

Таким образом, космическая медицина — наука, призванная обеспечить безопасность и успех полета человека в космос, дала толчок, стимулировала развитие ряда областей общей медицины, она не замкнулась в себе, а продолжает развиваться в непосредственном контакте с практической медициной, обогащая ее новыми разработками.

В настоящее время целый ряд проблем космической медицины решается в рамках ряда международных программ. Так, осуществляется обширная кооперация в исследованиях на биоспутниках с рядом социалистических стран, Францией и США.

Проведены совместные медико-биологические эксперименты во время советско-американского экспериментального полета «Союз — Аполлон». Это лишь примеры взаимовыгодного сотрудничества с зарубежными учеными, которое быстро развивается в настоящее время и способствует решению ключевых проблем космической медицины.

Специалисты сравнительно молодой области науки — космической биологии и медицины — встречают 60-летие Советской власти в обстановке большого творческого подъема, постоянного совершенствования средств и методов медико-биологического обеспечения длительных пилотируемых космических полетов. Достижения космической биологии и медицины успешно внедряются в «земную» практику и, несомненно, будут способствовать дальнейшему развитию здравоохранения, промышленности, сельского хозяйства и других областей деятельности человека.

Поступила в редакцию 25/IV 1977 г.

УДК 613.693(091)(47+57)

Н. М. Рудный

АВИАЦИОННАЯ МЕДИЦИНА К 60-ЛЕТИЮ ВЕЛИКОГО ОКТЯБРЯ

Великая Октябрьская социалистическая революция открыла возможности для невиданно быстрого развития творческой активности народных масс и производительных сил нашей страны. В исторически короткий срок советский народ, руководимый Коммунистической партией, построил развитое социалистическое общество и добился огромных успехов в развитии всех отраслей народного хозяйства, науки и культуры.

Только при Советской власти созданы условия для коренных изменений в организации народного здравоохранения и научных медицинских исследований, в чем сказывалась постоянная забота Коммунистической партии и правительства о здоровье и благе советских людей. Получило все возможности для успешного развития и новое для того времени направление — авиационная медицина, которая возникла в связи с появлением и непрерывным совершенствованием авиации.

Отдельные вопросы теории и практики медицинского обеспечения авиации начали разрабатываться в России еще до Великого Октября, однако такие работы были малочисленны и порой примитивны, что по существу соответствовало уровню развития авиации того времени. После установления Советской власти партия и лично В. И. Ленин стали уделять большое внимание становлению авиации и использованию ее

защиты для охраны первого в мире государства рабочих и крестьян. Буквально через несколько дней после революции по указанию В. И. Ленина был сформирован первый авиационный социалистический отряд для защиты Петрограда. В январе 1918 г. приказом Реввоенсовета республики потребовано, чтобы все имевшиеся авиационные части и школы были полностью сохранены для трудового народа. Одновременно налаживалось медицинское обслуживание авиационных специалистов, воевавших на фронтах гражданской войны и против иностранных интервентов. В штаты многих авиационных частей и других формирований вводились врачебные должности, затем создавались медицинские подразделения в авиационных школах и парках. Принципиальное значение имела организация в 1920 г. при Главном управлении Красного Воздушного Флота приемной медицинской комиссии для отбора курсантов в авиационные школы и изучения влияния условий летного труда на организм человека.

В начале 20-х годов авиационная медицина не представляла собой четкой системы знаний и занималась сравнительно узким кругом вопросов, которые все настойчивее ставила летная практика. Еще на первых этапах освоения полетов на аппаратах тяжелее воздуха можно было убедиться, что управление такими аппаратами — один из наиболее сложных видов человеческой деятельности, протекающей в особых условиях. Дальнейшее развитие авиации и накопление соответствующего опыта показали, что для успешного управления самолетом необходимы не только профессиональные навыки и умение, но и определенные физические и психологические качества человека. Факты, свидетельствовавшие о негативном влиянии на организм человека ряда условий полета, стимулировали разработку научных и практических вопросов, связанных с медицинским обеспечением безопасности и эффективности летной работы.

Важным этапом в становлении советской авиационной медицины явилась организация в 1924 г. центральной психофизиологической лаборатории, которая предназначалась не только для изучения летного труда в психофизиологическом аспекте, но и для разработки медицинских требований к состоянию здоровья летно-подъемного состава. Большой вклад в создание этой лаборатории и последующую ее деятельность внесли С. Е. Минц и Н. М. Добротворский. Последний несколько лет был научным руководителем лаборатории и являлся не только эрудированным авиационным врачом, но и опытным клиницистом.

Из стен Центральной психофизиологической лаборатории вышли такие известные специалисты авиационной медицины, как П. И. Егоров, В. Г. Миролюбов, И. К. Собенников, В. В. Стрельцов, Н. А. Вишневский, А. В. Лебединский, Г. Г. Куликовский, заложившие научную базу основных разделов авиационной медицины — авиационной физиологии и гигиены, авиационной офтальмологии и оториноларингологии, врачебно-летной экспертизы.

Претворение в жизнь грандиозного плана индустриализации страны и агрессивные устремления империалистических сил по отношению к Советскому Союзу обусловили бурное развитие нашей авиации в 30-е годы. Одновременно развертывалась сеть научно-исследовательских учреждений для разработки проблем авиационной медицины. В Гражданском Воздушном Флоте организовывались научно-исследовательские лаборатории авиационной медицины, а в ряде учебных и научных учреждений — кафедры и секции авиационной медицины.

Имея такую исследовательскую базу, советские авиационные врачи успешно решили в тот период ряд важных вопросов, поставленных летной практикой. В частности, были разработаны физиологические принципы снабжения кислородом экипажей самолетов на больших высотах, организации медицинского обеспечения длительных перелетов,

«Арх. анат.», 1974, № 12, с. 59—61. — 17. Ярулин Х. Х. и др. — «Космическая биол.», 1972, № 4, с. 33—39. — 18. Astrup P. — "Scand. J. clin. Lab. Invest.", 1968, v. 22, p. 102. — 19. Lassen N., Christinsen M. — "Brit. J. Anaesth.", 1976, v. 48, p. 719—734. — 20. Зыбин О. Х. Состояние некоторых показателей гемодинамики и газообмена мозга у больных с приобретенными пороками сердца. Дис. канд. М., 1973. — 21. Sobel B., Schell J. — В кн.: Инфаркт миокарда. М., 1975, с. 58—75. — 22. Jennings F. et a. — "Arch. Path.", 1957, v. 64, p. 10. — 23. Wroblewski F. — "Progr. Cardiovasc. Dis.", 1963, Bd 6, p. 63. — 24. Foit E. et a. — "Pflüg. Arch. ges. Physiol.", 1976, Bd 361, S. 287—296.

Поступила в редакцию 25/IV 1977 г.

PARAMETERS OF ACID-BASE EQUILIBRIUM AND ENZYMIC ACTIVITY OF BLOOD DURING SHORT-TERM HEAD-DOWN BED REST

V. E. Katkov, N. I. Kauricheva, V. V. Chestukhin, O. Kh. Zybin, R. D. Seifulla, V. N. Utkin

Before and after a 5 day head-down tilt of 4.5° blood samples were withdrawn from different areas of the cardiovascular system of healthy male volunteers. Blood was sampled by means of selective catheterization. Parameters of acid-base equilibrium and activities of aminotransferases and alkaline phosphatase were measured. After immobilization the most significant changes were observed in the blood outflowing from the brain in which significant metabolic acidosis and increased activity of aspartate aminotransferase occurred. A slight increase in the activity of aspartate aminotransferase was also observed in the blood outflowing from the liver and kidneys It is concluded that brain is the organ which is subjected to short-term simulated weightlessness in the highest degree.

УДК 612.014.482:629.782:525

Ю. Г. Григорьев, Ю. П. Дружинин, В. В. Вериго, Е. А. Ильин

ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАДИОБИОЛОГИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА НА БИОСПУТНИКЕ «КОСМОС-690»

В космическом полете человек и сопровождающие его живые организмы оказываются в обстановке, которая не встречается на Земле. Эта обстановка характеризуется прежде всего состоянием невесомости и постоянным воздействием космической ионизирующей радиации. Изучение сочетанного биологического действия ионизирующего космического излучения и невесомости необходимо для решения задачи обеспечения радиационной безопасности экипажей при длительных космических полетах.

Для изучения одновременного воздействия невесомости и ионизирующей радиации необходимо, чтобы биологические объекты были облучены непосредственно в условиях космического полета. В связи с этим советские и американские ученые пришли к выводу, что для изучения модифицирующего влияния невесомости на радиобиологический эффект необходимо применение на борту биоспутников искусственных источников радиации. Это позволяет в условиях длительной невесомости экспериментировать практически с любыми величинами доз ионизирующего излучения, моделируя, в частности, возможное облучение экипажей космических кораблей за счет солнечной вспышки. Одним из таких уникальных аппаратов и является биоспутник «Космос-690».

Биоспутник «Космос-690» был запущен 22/X 1974 г. на орбиту с параметрами: максимальное расстояние от поверхности Земли (в апогее) 389 км, минимальное расстояние от поверхности Земли (в перигее) 223 км, наклонение орбиты 62,8°.

12/XI 1974 г., т. е. через $20^1/_2$ сут полета, в соответствии с программой эксперимента спускаемый аппарат биоспутника совершил посадку.

Схема проведения эксперимента на биоспутнике «Космос-690» представлена на рис. 1.

Основными задачами проведенных радиобиологических исследований на биоспутнике являлись: 1) получение данных об изменении радиочувствительности животных и особенностях формирования лучевого поражения при комплексном воздействии ионизирующего излучения и невесомости в условиях реального космического полета; 2) характеристика биологического действия тяжелых ионов галактического кос-

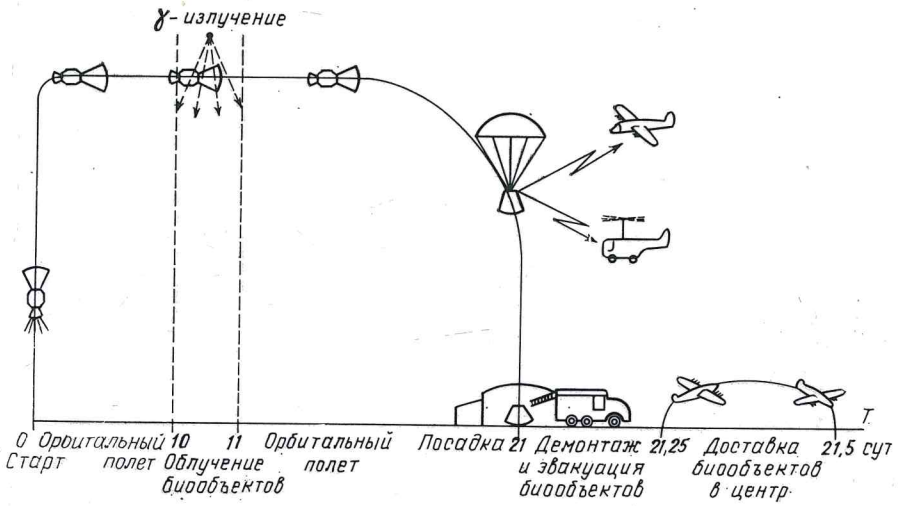

Рис. 1. Схема проведения радиобиологического эксперимента на биоспутнике «Космос-690».

мического излучения (ГКИ) на нервную ткань млекопитающих (крыс) и другие биологические объекты.

В радиобиологических экспериментах на спутнике «Космос-690» основными биологическими объектами являлись млекопитающие животные — 35 крыс линии Вистар, которые во время полета находились в отдельных камерах в нефиксированном состоянии (рис. 2). Внутри каждой камеры были расположены кормушки, поилка, осветительное устройство. Система вентиляции и сбора отходов жизнедеятельности позволяла поддерживать в камерах оптимальные санитарно-гигиенические условия. Обеспечение животных кислородом и очистка атмосферы от углекислоты и других газообразных примесей осуществлялась системой химической регенерации атмосферы. В обитаемом отсеке поддерживалась температура от 20 до 22°С, давление воздуха составляло 750—810 мм рт. ст., при этом давление кислорода изменялось в соответствии с режимом работы системы регенерации от 150 до 210 мм рт. ст., а относительная влажность колебалась от 60 до 70% (рис. 3). Во время полета с помощью телеметрии регистрировали двигательную активность.

Перед полетом крысы были тщательно обследованы и прошли специальную тренировку к условиям содержания, кормления, водообеспечения. Крысы для полета были отобраны из 300 животных с учетом их веса, состояния периферической крови, бактерицидности кожи и микрофлоры зева. При исследовании высшей нервной деятельности по лабиринтному методу были отобраны наиболее активные, подвижные крысы с наибольшей пищевой возбудимостью, показавшие хорошую ориентировку в новых условиях пребывания. Важным критерием при отборе животных являлась реактивность системы кроветворения, которая определялась с помощью адреналовой пробы. Последняя была спе-

циально модифицирована применительно к условиям проведения эксперимента на биоспутнике «Космос-690».

На борту биоспутника располагался гамма-облучатель ^{137}Cs активностью 320 Ки. Бортовой гамма-облучатель был разработан на основа-

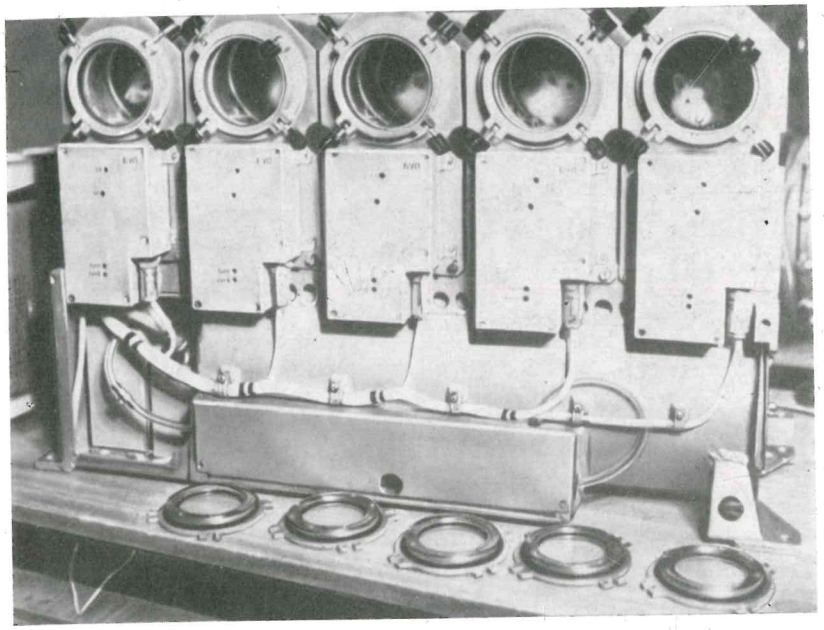

Рис. 2. Блоки для содержания крыс.

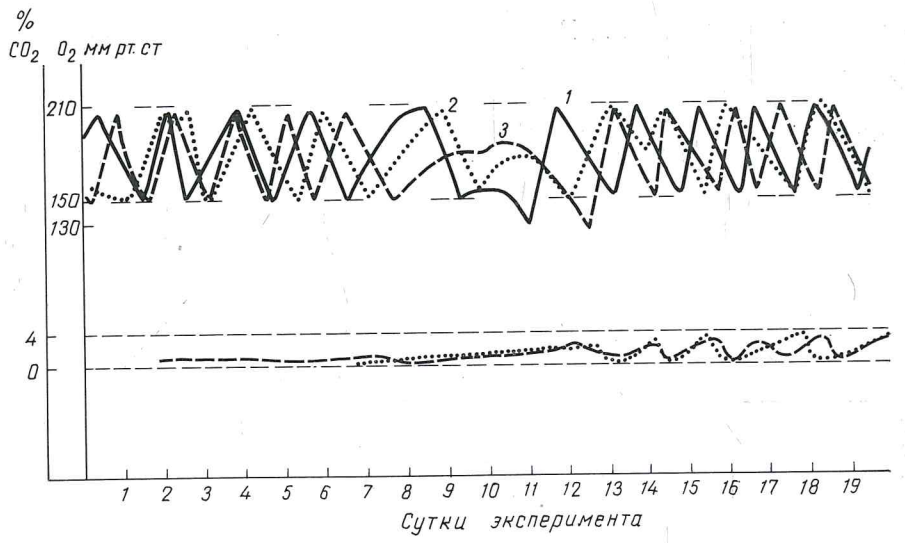

Рис. 3. Особенности микроклимата в полетном и контрольном экспериментах: содержание кислорода (*А*), углекислого газа (*Б*), влажность (*В*) и температура воздуха (*Г*).

1 — полетный эксперимент; *2* — «Контроль-1» (предполетный); *3* — «Контроль-2» (послеполетный).

нии существующих норм радиационной безопасности и с учетом требований, предъявляемых к космической технике. Была проведена большая работа по созданию равномерного поля облучения животных. Использование специального фильтра позволило создать дозное поле с равномерностью ±10% и средней мощностью дозы для одной группы животных 33,3 рад/ч, для другой — 9,1 рад/ч.

В соответствии с программой исследования включение облучателя было произведено по телеметрии через 9 дней адаптации животных к условиям полета. Облучение длилось 24 ч, моделируя возможное радиационное воздействие при возникновении мощной солнечной вспышки. Контроль облучения проводился с помощью ионизационного бортового дозиметра. Кроме того, величина дозы, полученная каждым животным, фиксировалась с помощью индивидуальных термолюминесцентных дозиметров. Обработка полученных дозиметрических данных свидетельствует о том, что облучение животных в полете было осуществлено в соответствии с заданной программой и средние значения поглощенных доз были равны для различных групп животных 220 рад (10 крыс) и 800 рад (21 крыса), при этом 2 крысы были облучены в дозе 670 рад и 2 — в дозе 955 рад.

На Земле были проведены контрольные эксперименты, в которых моделировались (кроме невесомости) все условия пребывания животных в биоспутнике, включая облучение («Контроль-1» и «Контроль-2»). Был использован также ряд так называемых виварийных (интактных) контролей и снята кривая доза — эффект в лабораторных условиях. При этом «Контроль-1» отличался от эксперимента «Контроль-2» имитацией в нем линейных и ударных перегрузок на участке спуска и приземления.

Через 1—2 и 26—27 сут после приземления спускаемого аппарата биоспутника, т. е. на 11—12-е и 36—37-е сутки после облучения, животные были детально обследованы. При этом были привлечены современные физиологические, гематологические, биохимические, морфологические и другие методы исследования.

Анализ материала и его сопоставление проводились с помощью математических методов. На первом этапе обработки применяли алгоритмы прикладной статистики для оценки достоверности различия данных в сравниваемых группах. В тех случаях, когда исследовали сложные показатели типа гемограммы и миелограммы, наряду с определением критерия Стьюдента для отдельных компонент оценивали также различия между комплексами показателей с помощью многомерного критерия Хоттелинга. В дальнейшем процессе обработки данных гематологических исследований привлекали методы дисперсионного и факторного анализа, математические модели. Идентификация структурных параметров модели для различных полетных и контрольных групп позволила количественно оценить сдвиги в функциональном статусе системы кроветворения под действием облучения и других факторов космического полета.

С целью топографического определения прохождения тяжелых ионов галактического космического излучения через головной мозг животных и характеристики вызванных поражений нервных клеток у части крыс на голове были зафиксированы дозиметрические пластинки. Кроме того, для оценки биологического действия ГКИ на борту биоспутника были размещены специальные «сборки». В этих «сборках» поочередно с пластинковыми детекторами располагались дрожжи и семена растений.

В течение $20^1/_2$ сут полета погибли 2 крысы, облученные в дозе 800 рад, и на 34-е сутки после облучения с клиническими проявлениями кишечной инфекции погибла еще 1 крыса, облученная в той же дозе. В «Контроле-1» погибли 2 крысы: 1 (облученная в дозе 955 рад) с выраженными признаками острой лучевой болезни и 1 (облученная в дозе 220 рад) от присоединившейся пневмонии. В «Контроле-2» все животные были живы. Смертность животных в лабораторных условиях при дозе 800 рад не превышала 5%. Разница в выживаемости полет-

ных и контрольных крыс недостоверна, хотя и была выражена некоторая тенденция к повышению смертности животных в полетной группе.

Во время полета и соответственно в экспериментах «Контроль-1» и «Контроль-2» производился анализ телеметрических данных, характеризующих общую двигательную активность животных, потребление ими корма, а также двигательную активность во время еды («пищевая двигательная активность»). Облучение в дозе 220 рад не привело к изменению потребления корма животными как на биоспутнике, так и в контрольных экспериментах. После облучения в дозе 800 рад потребление пищи животными значительно снизилось на 3-и сутки после облучения (на 50—75%). Восстановление пищевой возбудимости до исходного уровня в «Контроле-1» и «Контроле-2» произошло на 5—7-е сутки после облучения. В полетном эксперименте восстановление происходило более медленно и не достигло исходного уровня на 20-е сутки полета.

Вес полетных и контрольных животных, облученных в дозах 220 и 800 рад, на 2-й день после приземления биоспутника и завершения эксперимента в наземном макете биоспутника

Вид эксперимента	Доза облучения	Вес, г		
		до опыта	после опыта	изменение
«Полет»	800	223,5	239,8	16,4±3,43
«Контроль-1»		219,2	263,9	44,7±5,0
«Полет»	220	223,4	256,2	32,8±4,65
«Контроль-1»		223,4	274,9	51,9±3,2
Виварийный контроль		213,8	276,5	62,7±4,0

Сразу же после приземления спутника общее состояние животных было удовлетворительным. Крысы были малоподвижны, мышечный тонус снижен. Время сокращения камбаловидной мышцы уменьшилось после полета в 2 раза (В. С. Оганов). В полетном эксперименте биохимические изменения в мышцах были более значительными (М. С. Гаевская).

Вес крыс, облученных в дозе 800 рад, к концу космического полета мало отличался от исходного (см. таблицу). Прирост веса у этих животных к моменту посадки был достоверно меньше, чем у контрольных крыс, облученных в той же дозе (Ю. И. Кондратьев). Динамика изменения веса в течение последующего периода наблюдения у животных, облученных в полете в дозе 800 рад, отличалась от остальных крыс: прирост веса к 25-м суткам после полета был менее интенсивным (вес подопытных крыс 275 г, контрольных 310 г).

Выбранные для эксперимента условия облучения приводят к развитию у крыс гемопоэтической формы острой лучевой болезни. Поражение репродуктивной способности клеток костного мозга связано с высокой радиочувствительностью стволовых клеток. Хорошо известно, что радиочувствительность стволовых клеток составляет около 100 рад. Для исследования стволовых гемопоэтических клеток крыс был использован метод экзогенного клонообразования с сингенной трансплантацией клеток костного мозга 4—5-недельным крысятам и ксеногенной трансплантацией мышам F_1 поколения (СВА×C_{57}Bl/6). Наиболее объективную информацию дает первый из них (А. Вацек, Г. Н. Подлужная). Общее содержание КОЕ (колониеобразующих единиц) в бедренной кости крыс на 12-е сутки после облучения в дозе 800 рад как в

условиях невесомости, так и в эксперименте «Контроль-1» было практически одинаковым (90,6 и 91,02), хотя и не достигало уровня интактного контроля (148,1). Однако различие в содержании КОЕ в отдаленный период свидетельствует о несколько отличающейся кинетике лучевого поражения и пострадиационного восстановления данной популяции клеток костного мозга. Близкие результаты были получены и методом ксеногенной трансплантации (В. Н. Швец). Морфологический анализ колоний, выросших в селезенке крыс-реципиентов, показал отсутствие каких-либо существенных нарушений потенции к дифференцировке гемопоэтических стволовых клеток полетных животных. Способность стволовых клеток к формированию колоний клеток эритроидного и миелоидного типов оставалась постоянной (В. Н. Швец).

В послеполетном периоде было проведено детальное обследование системы кроветворения, позволившее оценить репаративную регенерацию гемопоэза (М. П. Каландарова, Г. П. Родина). Облучение животных в условиях космического полета в дозе 800 рад сопровождалось несколько более выраженными изменениями кроветворения, чем облучение на Земле. Об этом свидетельствуют несколько более выраженные изменения в содержании лейкоцитов, лимфоцитов и ретикулоцитов в крови, а также миелокариоцитов, лимфоцитов и ретикулярных клеток, моноцитов, плазмоцитов в костном мозге на 12—13-е сутки после облучения (рис. 4). Так, по количеству миелокариоцитов радиобиологический эффект облучения в полете в дозе 800 рад соответствовал эффекту облучения на Земле в дозе 950 рад. Восстановление содержания форменных элементов крови и костного мозга до нормы к 36—37-м суткам после облучения указывает на то, что регенераторные процессы в костном мозге крыс, находившихся в космическом полете, были сохранены, но, по-видимому, несколько снижены. Эффект некоторого утяжеления лучевого поражения органов кроветворения в космическом полете по отдельным показателям трудно объяснить в настоящее время, тем более что пул не только стволовых, но и делящихся гемопоэтических клеток количественно не изменился по сравнению с аналогичными наземными контролями в экспериментах на биоспутнике как «Космос-605», так и «Космос-690» (Г. П. Родина). Осмотическая стойкость лейкоцитов у животных, облученных в дозе 220 рад, в полете и в «Контроле-2» была практически одинаковой (35,4 и 30,3% соответственно) и не отличалась от виварийного контроля (26,2%). Облучение в дозе 800 рад сопровождалось увеличением резистентности лейкоцитов как в полете, так и в контроле (58,4 и 5,1% соответственно). Не обнаружено модифицирующего влияния невесомости на устойчивость эритроцитов (Л. В. Серова).

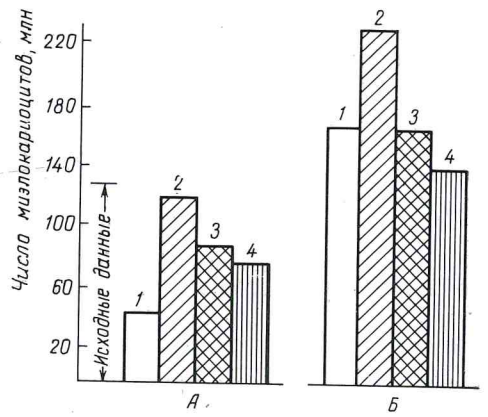

Рис. 4. Число миелокариоцитов костного мозга крыс на 11—12-е (*А*) и 36—37-е (*Б*) сутки после облучения.

1 — полет (800 рад); *2* — «Контроль-1» (800 рад); *3* — «Контроль-2» (800 рад); *4* — лабораторный контроль (950 рад).

У подопытных и контрольных животных исследовали интенсивность собственной ультрафиолетовой флюоресценции (УФФ) лимфоцитов периферической крови (С. Н. Александров, А. С. Ягунов, В. Г. Сафронов). Как известно, УФФ клеток обусловлена содержанием в них ароматических аминокислот и белков. При действии радиации на клетки и тка-

ни интенсивность УФФ линейно нарастает с дозой облучения. Она мало зависит от мощности дозы и не зависит от фракционирования лучевого воздействия (С. Н. Александров). По этому критерию можно судить о величине необратимых пострадиационных изменений. Всего было обследовано 10 контрольных и 20 полетных животных (10 облученных на Земле и 10 — в полете в дозе 800 рад). Различия между сериями были недостоверны.

Цитогенетические исследования клеток костного мозга крыс (Т. П. Цессарская), облученных в дозах 800 и 220 рад, не обнаружили достоверных различий между полетной группой и группой из эксперимента «Контроль-1», количество клеток с аберрациями было равно 3,4± ±0,89 и 2,39±0,79%.

Морфологические исследования системы кроветворения крыс, облученных в дозе 220 рад, не выявили существенной разницы в динамике изменения большинства форменных элементов крови и костного мозга. Более того, миелопоэз даже несколько более активно протекал у крыс, облученных на борту биоспутника, чем у животных, подвергавшихся лучевому воздействию на Земле (в «Контроле-1» и «Контроле-2»). Об этом свидетельствует несколько более высокий уровень лейкоцитов, нейтрофилов и молодых форм гранулоцитов на фоне нормального количества миелобластических элементов. Однако эти различия были недостоверны.

Неоднозначность эффекта сочетанного воздействия нерадиационных факторов среды и радиации в разном диапазоне доз свойственна большинству наземных экспериментальных работ. Такое же различие было установлено в эксперименте на биоспутнике «Космос-690» по критерию поражения органов кроветворения.

К числу радиочувствительных тканей относят также эпителий желудочно-кишечного тракта и сперматогенный эпителий. Комбинированное воздействие радиации и невесомости привело к уменьшению количества лимфоидных элементов в слизистой оболочке желудочка, строме ворсинок тонкой и в слизистой оболочке толстой кишок (В. В. Португалов). Изменения, обнаруженные у крыс в эксперименте «Контроль-2», по характеру и степени выраженности были аналогичными таковым у животных полетной группы.

Патоморфологические исследования семенников (вес органа, встречаемость отдельных элементов сперматогенного эпителия, гистологическая картина канальцев) не выявили влияния условий полета на лучевой эффект и течение репаративных процессов (В. В. Португалов). Кроме того, метафазным и анафазным методами были изучены хромосомные нарушения в сперматогенном эпителии (М. Д. Померанцева). У крыс, облученных в большей дозе, в полетном эксперименте, а также в экспериментах «Контроль-1» и «Контроль-2» различия в частоте хромосомных нарушений отсутствовали (22,6±5,5, 20,4±5,1 и 23,5±3,4% клеток с аберрациями при метафазном методе анализа). При воздействии в дозе 220 рад аберраций больше у животных, облученных в полете (28,6±7,9%), чем в экспериментах «Контроль-1» и «Контроль-2» (9,9±1,0, 9,9±3,6%), однако различия статистически недостоверны. При изучении частоты доминантных летальных мутаций в сперматидах по показателям общей смертности эмбрионов, доимплантационным потерям и постимплантационной смертности эмбрионов обнаружено некоторое повышение лучевого эффекта в полетной группе, облученной в дозе 220 рад.

Эпителий роговицы занимает промежуточное положение между радиочувствительными и радиорезистентными тканями. Выход клеток с аберрациями, видимых в анафазе митоза, оказался больше в полетной группе (8,8±0,7), облученной в дозе 800 рад, по сравнению с аналогичной группой «Контроль-1» (5,1±0,5%). В то же время частота

клеток с аберрациями в группах, облученных в дозе 220 рад, была одинаковой (С. С. Ворожцова).

Обращает на себя внимание факт некоторого усиления биологического эффекта радиации в космическом полете в отношении радиорезистентных тканей — печеночной (снижение концентрации и вязкости ДНК, повышение содержания триглициридов и т. д.) и мышечной (снижение содержания фосфолипидов и т. д.). Содержание ДНК в печени крыс на 12-е сутки после облучения в дозе 220 рад снизилось на 30%, а в «Контроле-2» — на 19%. После облучения в дозе 800 рад снижение ДНК было равно 33 и 22% соответственно. Нормализация этого процесса в опытной группе была заметной, различия в восстановлении содержания ДНК по сравнению с контрольной серией составило 16—20%. В селезенке, так же как и в печени, снижение содержания ДНК на 12-е сутки после облучения было большим в опытной группе, чем в «Контроле-1» (25 и 11% при облучении в дозе 220 рад и 32 и 29% при облучении в дозе 800 рад соответственно). Интересно отметить, что этой закономерности не было в изменении содержания ДНК в костном мозге (Ф. Т. Гусейнов). Были отмечены несколько большие нарушения в структуре ДНК ядерного хроматина печени крыс, облученных в полете (Г. С. Комолова, В. Ф. Макеева).

Установлены различия в содержании кортикостерона в плазме крови: у крыс, облученных в космосе в дозе 220 рад, его концентрация повышалась, а у контрольных животных — понижалась (Н. Ф. Калита, Р. А. Тигранян).

Был получен интересный факт при исследовании белковых фракций и их ферментативной активности в миокарде подопытных и контрольных крыс (М. С. Гаевская). Облучение контрольных животных приводило к снижению активности аспартат-аминотрансферазы саркоплазматических белков миокарда и повышению активности АТФ-азы миозина миокарда. У крыс, облученных в космосе, по-видимому, влияние невесомости было превалирующим (М. С. Гаевская), что привело к понижению активности АТФ-азы миозина миокарда.

Радиационное воздействие в условиях невесомости способствовало возникновению морфологических и функциональных изменений в венечных сосудах сердца, в антигравитационных мышцах и замедляло восстановительные процессы в них в периоде реадаптации к земной гравитации (В. В. Португалов).

С целью оценки сравнительной значимости ряда факторов (облучения, перегрузок, комплекса условий самого космического полета и суммарного воздействия условий полета и перегрузок на участке спуска и приземления) был проведен факторный анализ ряда показателей в полетной и контрольной группах. Влияние условий полета на количество миелокариоцитов в бедренной кости оказалось достоверным и более значимым, чем влияние различий в дозе облучения. На этот показатель оказали сильное влияние и перегрузки. Условия полета также достоверно воздействовали на содержание лимфоцитов в костном мозге. Влияние перегрузок на этот показатель было несущественным. Ни условия полета, ни перегрузки не оказывают значимого влияния на показатели периферической крови. Анализ веса тимуса и селезенки показал, что если факторы полета и облучения в равной мере действуют на вес тимуса, то изменения веса селезенки были связаны в основном с влиянием условий полета.

Таким образом, анализ результатов радиобиологического эксперимента на животных на биоспутнике «Космос-690» позволяет утверждать, что модифицирующий эффект комплекса нелучевых факторов космического полета, в том числе невесомости, действующих в течение $20^1/_2$ сут, невелик; коэффициент модифицирующего действия по различным показателям, в основном относящимся к критическим радиочув-

ствительным органам, близок к 1,0 и не превышает 1,2. Этот факт согласуется с нашей рабочей гипотезой: радиочувствительность животных при действии физических факторов внешней среды, по-видимому, изменяется в пределах границ естественных (суточных, сезонных) вариаций радиочувствительности, если физические агенты не выходят за пределы переносимости данной популяции. В соответствии с этой гипотезой коэффициент модифицирующего действия не должен превышать 1,5 для острых лучевых воздействий и 1,25 для пролонгированных облучений. К последнему типу лучевого воздействия и относится облучение на биоспутнике «Космос-690».

Уточнение величины модифицирующего действия условий реального космического полета на радиобиологический эффект является шагом вперед в оценке радиационной опасности космических полетов по сравнению с ранее проведенными исследованиями с моделированием в основном только факторов активных участков полета.

Исследования на биоспутнике «Космос-690» были выполнены рядом научно-исследовательских институтов и организаций СССР с участием специалистов ЧССР и СРР, сотрудничающих в рамках программы «Интеркосмос».

Поступила в редакцию 13/XII 1976 г.

MAIN TASKS AND RESULTS OF THE RADIOBIOLOGICAL EXPERIMENT ABOARD THE COSMOS-690 BIOSATELLITE

Yu. G. Grigoriev, Yu. P. Druzhinin, V. V. Verigo, E. A. Ilyin

In 1974 the USSR carried out a rat experiment aboard the biosatellite Cosmos-690 equipped with a gamma-emitter. On the 10th flight day rats were irradiated with doses of 220 and 800 rad. During the subsequent 10 days radiation damage developed. Similar experiments simulating the flight profile, except for weightlessness, were conducted on the Earth. The resulting data were compared. It is concluded that a short-term (up to 20 days) flight did not modify essentially the radiobiological effect.

УДК 612.744.1.015.1-06:612.766.2+612.744.1.015.1-06:629.78

Н. В. Петрова, В. В. Португалов

ИЗОФЕРМЕНТЫ ЛАКТАТДЕГИДРОГЕНАЗЫ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ КРЫС ПОСЛЕ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА И ПРИ ГИПОКИНЕЗИИ

Исследования последних лет показали, что нарушения, возникающие в организме под влиянием невесомости и гипокинезии, во многом сходны. Состоянию ограниченной подвижности, как и невесомости, сопутствуют снижение нагрузки на опорно-двигательный аппарат и изменения гемодинамики. Отсутствие или снижение мышечной активности приводит к появлению ряда взаимосвязанных расстройств. В мышцах развиваются атрофические и дистрофические процессы [1, 2, 3]. Вместе с тем до настоящего времени в литературе нет вполне достоверных данных, показывающих, насколько близки или различны изменения метаболизма мышц при невесомости и гипокинезии.

По существующим представлениям при ограничении подвижности и в состоянии невесомости изменения в первую очередь возникают в «антигравитационных» мышцах — мышцах-разгибателях, к которым относятся камбаловидная и подошвенная мышцы задних конечностей. В модельных экспериментах, проведенных в наземных условиях на животных, при гипокинезии в этих мышцах были обнаружены существенные морфологические изменения [4]. Чтобы выявить сдвиги в процессах обмена веществ, лежащие в основе изменений структурной организации мышц, мы использовали биохимические методы, позволяющие установить направленность метаболизма в условиях экспериментальных воздействий. В качестве тест-объекта был выбран один из ключевых ферментов углеводного обмена — лактатдегидрогеназа (ЛДГ). ЛДГ в организме представлена в виде пяти изоферментных форм. Существует хорошая корреляция между соотношением изоферментных фракций ЛДГ и направленностью углеводного метаболизма ткани. Изменения в обмене веществ ткани находят отражение в спектре ЛДГ [5].

Методика

А. Материал

Исследования проведены на камбаловидных и подошвенных мышцах крыс-самцов 4 групп. В 1-ю группу вошли 14 крыс, вернувшихся из 22-дневного орбитального полета. Материал для исследования был взят у 8 крыс на 2-е сутки и у 6 — на 27-е сутки после окончания полета. Для учета эффектов, связанных с пребыванием животных в условиях системы жизнеобеспечения, использовали 15 крыс из наземного модельного эксперимента, исследованных на 2-е (8 крыс) и 27-е (7 крыс) сутки после его окончания (2-я группа). Результаты изучения обмена веществ камбаловидных и подошвенных мышц крыс, вернувшихся из орбитального полета, сравнивали с материалами, полученными при изучении тех же мышц 30 крыс, находившихся в течение 7, 15, 36 и 60 сут в условиях жесткого ограничения подвижности — гипокинезии — в индивидуальных клетках-пеналах (3-я группа). Общим контролем (4-я группа) служили 50 крыс, содержавшихся в условиях вивария. Контрольных животных исследовали одновременно с подопытными. Для исследования брали образцы 2 мышц скакательного комплекса — камбаловидной и подошвенной, замораживали сухим льдом и хранили до момента обработки в течение нескольких дней при —70°С.

Б. Определение изоферментного состава ЛДГ

Для анализа готовили тканевый экстракт: навеску ткани растирали в стеклянном гомогенизаторе в 0,25 М сахарозе, обломки клеток осаждали центрифугированием.

Изоферментный состав ЛДГ исследовали методом электрофореза в полиакриламидном геле. Разделение белков скелетных мышц проводили по методу Davis [6] с небольшими модификациями, предложенными Dietz, Lubrano [7]. Поскольку в нашем распоряжении имелись относительно малые количества ткани (от 10 до 30 мг), был применен микровариант метода, позволяющий исследовать образцы, содержащие 1—3 мкг белка. Для повышения разрешающей способности метода электрофорез проводили в капиллярах размером 1,5×3×50 мм. Камера для электрофореза позволяла одновременно исследовать 12 образцов. Экстракт объемом 5—10 мкл наносили на гель с помощью микрошприца. Объем и разведение экстракта подбирали в начале эксперимента. Электрофорез вели при напряжении 180—200 В и силе тока 8—10 мА на 12 капилляров в течение 60 мин. Специфическую активность фракций ЛДГ выявили по методу с синим тетразолием [7]. Количественное определение изоферментов ЛДГ проводили сканированием плоских гелей в регистрирующем микрофотометре ИФО-451. Площади отдельных фракций ЛДГ на денситограмме измеряли планиметром и вычисляли величину каждой фракции в процентах по отношению к их сумме.

Достоверность полученных данных определяли методом вариационной статистики по непараметрическому критерию X Ван-дер-Вардена [8], при двусторонних границах с критическим уровнем значимости 5%. При нахождении величины критерия X располагали все имеющиеся варианты значений x (опыт) и y (контроль) в один возрастающий ряд. r — порядковый номер x и $y_к$ в этом ряду, n — число случайных величин $x_1 \ldots\ldots x_g$ и $y_1 \ldots\ldots y_h$, $n = g + h$.

Величина критерия X есть функция $\psi \frac{r}{n+1}$:

$$X = \Sigma \psi \frac{r}{n+1}.$$

Найденную величину критерия X оценивали по таблице «Границы критической области для критерия X» [8]. Если найденная величина оказывалась больше табличного значения X_p, то различия между группами наблюдений признавались существенными с соответствующим уровнем вероятности P.

Результаты и их обсуждение

В камбаловидной мышце в норме преобладает аэробный путь превращения углеводов, ее изоферментный спектр ЛДГ по типу является «сердечным» (рис. 1, *а*).

Пребывание крыс в течение 22 дней в условиях невесомости заметно повлияло на ход обменных процессов в камбаловидной мышце. На

В кн.: Вопросы психотерапии в общей медицине и психоневрологии. Харьков, 1968, с. 460—461. — 4. Иванов Н. В. — В кн.: Актуальные вопросы психиатрии и невропатологии. М., 1963, с. 379—384. — 5. Лобзин В. С., Кулагин Ю. М. Аутогенная тренировка в практике военного врача. Метод. пособие. Л., 1968. — 6. Мировской К. И., Шагам А. Н. — В кн.: Психотерапия в курортологии. Киев, 1966, с. 235—238. — 7. Ромен А. С. Самовнушение и его влияние на организм человека. Алма-Ата, 1970. — 8. Иконников В. А. — В кн.: Психическая саморегуляция. Алма-Ата, 1973, с. 151. — 9. Лебединский М. С. Очерки психотерапии. М., 1971. — 10. Наченская Э. М., Иконников В. Л., Левенков А. В. — «Труды Горьковск. мед. ин-та», 1969, вып. 31, с. 245—248. — 11. Ромен А. С. В кн.: Психоневрология. Психотерапия. Психология. Алма-Ата, 1972, с. 203—206. — 12. Перекрестов И. М. — «Труды Пермск. мед. ин-та», 1968, вып. 1, т. 80, с. 71—81. — 13. Филатов А. Т. Эмоционально-волевая подготовка велосипедистов. Киев, 1975, с. 18—25.

Поступила в редакцию 10/VIII 1976 г.

Краткие сообщения

УДК 612.881-057:629.78

Л. Н. Корнилова, Г. Д. Сырых, И. К. Тарасов, И. Я. Яковлева

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИИ ВОСПРИЯТИЯ ПРОСТРАНСТВА У ЧЛЕНОВ ЭКИПАЖА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ПОЛЕТА «СОЮЗ — АПОЛЛОН»

В целях получения объективной количественной информации о состоянии функции восприятия до и после космического полета, а также изучения соотношений между показателями точности восприятия пространственных координат и интенсивностью субъективных реакций, наблюдаемых в условиях полета, было проведено исследование функции восприятия пространственных координат.

Методика

Тестирование функции восприятия пространственных координат осуществлялось с помощью отечественного прибора «Вертикаль». Подробное описание принципиальной схемы методики, критериев нормы и сущности оцениваемых показателей дано в работах, опубликованных ранее [1, 2].

Пяти-семикратное тестирование проводилось 2 раза до полета (за 15—16 и за 3 сут) и 2 раза после полета (на 1-е и 4-е сутки после приземления). Исследование проводили в трех позициях: в положении сидя и в положениях лежа на правом и левом боку. Одновременно регистрировалось и время, затрачиваемое испытуемыми на восстановление подсвечиваемой прорези в вертикальном или горизонтальном положении.

Результаты и их обсуждение

При двукратных фоновых обследованиях в состоянии покоя показатели точности восприятия пространственных координат у космонавта В. Н. Кубасова находились в пределах физиологической нормы. У космонавта А. А. Леонова при первом фоновом обследовании в положении сидя величина ошибки восприятия пространственных координат превышала нормы физиологического разброса. Асимметрии в распределении показателей при положении космонавтов лежа на боку отмечено не было.

Послеполетное обследование космонавта А. А. Леонова не выявило существенных сдвигов в системе восприятия — колебания ошибки в пределах нормы физиологического разброса.

У космонавта В. Н. Кубасова в 1-е сутки после полета в положении сидя было отмечено возрастание ошибки восприятия пространственных координат (в 2 раза выше нормы), а также появление асимметрии, которая, однако, не выходила за верхнюю границу нормы. При обследовании на 4-е сутки после полета величина ошибки снизилась до верхнего уровня нормы, тенденция к асимметрии сохранялась.

При анализе временных параметров, затрачиваемых на выполнение задания, можно было отметить незначительное их увеличение у обоих космонавтов в 1-е сутки после полета.

Изучение соотношений между показателями точности восприятия пространственных координат в наземных условиях покоя и степенью выраженности субъективных реакций в полете позволило отметить следующее: у А. А. Леонова, у которого в полете были выражены иллюзорные реакции (иллюзия инверсии), в фоновых исследованиях соответственно отмечалась более высокая ошибка в восприятии пространственных координат.

Выявление асимметрии в точности определения пространственных координат у В. Н. Кубасова в известной степени можно объяснить влиянием перераспределения тонуса скелетных мышц [3, 4]. Вместе с тем нельзя исключить, что существенные изменения восприятия в периоде реадаптации, отмеченные у В. Н. Кубасова, могли быть связаны с более выраженной и длительной реакцией на перераспределение жидких сред организма в полете, а также с соответствующими гемодинамическими сдвигами в периоде реадаптации.

Слабую выраженность феномена Aubert у обоих космонавтов как до полета, так и после него, по-видимому, можно объяснить систематическими предварительными тренировками вестибулярной системы и функции восприятия на занятиях по стыковке кораблей в процессе профессиональной подготовки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бохов Б. Б., Корнилова Л. Н., Яковлева И. Я. — «Космическая биол.», 1973, № 6, с. 51—56. — 2. Они же. — Там же, 1975, № 1, с. 51—56. — 3. Кликс Ф. Проблемы психофизики восприятия пространства. М., 1965. — 4. Курашвили А. Е., Бабияк В. И. Физиологические функции вестибулярной системы. Л., 1975.

Поступила в редакцию 31/V 1976 г.

УДК 612.85-06:612.223.1

Ю. В. Крылов

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ УГЛЕКИСЛОТЫ НА ФУНКЦИЮ СЛУХОВОГО АНАЛИЗАТОРА ЧЕЛОВЕКА

Бурное развитие техники предъявляет повышенные требования к надежности системы «человек — машина», особенно при крайних значениях воздействующих факторов. Поэтому в последнее десятилетие повысился интерес к изучению функции, в частности, слухового анализатора человека в экстремальных условиях, тем более, что орган слуха, по данным различных исследователей, превосходит устойчивость зрительного анализатора к ускорениям, гипоксии, температурному фактору и др. [1, 2, 5, 6].

Таблица 1

Данные порогов слуха после многочасового пребывания обследуемых в атмосфере, содержащей 4—4,5% CO_2

Показатель		Исследуемые частоты, Гц									
		125	250	500	1000	2000	3000	4000	6000	8000	10 000
Повышение порогов слуха, дБ	M	9	10	10	11	13	14	15	16	15	18
	$\pm\sigma$	7,3	4,1	3,9	4,2	6,7	4,2	6,7	7,7	6,6	8,8
	$\pm m$	3,0	1,7	1,6	1,7	2,7	1,7	2,7	3,1	2,7	3,6

Примечание. Здесь и в табл. 2 за «О» принять пороги слуха до воздействия.

В данном сообщении сделана попытка изучить особенности функции слухового анализатора человека при повышенной концентрации углекислоты во вдыхаемом воздухе (от 1 до 8%). Пороги слуховой чувствительности по воздушной проводимости исследовались на частотах 125—10 000 Гц у 15 здоровых мужчин в возрасте от 19 до 30 лет. Аудиометрия проводилась до начала воздействия, в процессе эксперимента и через 5—30 мин после его окончания.

Показано, что многосуточное пребывание человека в атмосфере с концентрацией CO_2 от 1 до 2% не приводит к статистически достоверному изменению порогов слуховой чувствительности [3]. Такие же данные получены при многочасовом пребывании человека в атмосфере с концентрацией CO_2 до 3%.

Первые изменения порогов слуховой чувствительности получены при длительном нахождении испытуемых в условиях дыхания газовой смесью с концентрацией CO_2 4—4,5% (табл. 1).